

Patrick Brandt, David Sonntag

# Aktivierung von Spüllösungen

## Eine Literaturübersicht

**INDIZES** *Spülung, Desinfektion, Aktivierung, Spülsystem, PUI, EndoActivator, EDDY, Laser, Ozon, EndoVac, RinsEndo, Vibringe*

Die Desinfektion des Wurzelkanalsystems mithilfe eines antibakteriellen und gewebeauflösenden Spülprotokolls ist der essenzielle Schritt während der endodontischen Therapie und wird häufig auch als chemomechanische Präparation bezeichnet. Da die konventionelle Spülmethode mit Spritze und Kanüle nicht in der Lage ist, das komplexe Kanalsystem mit allen Irregularitäten wie Isthmen, Seitenkanälen, Ausbuchtungen und Dentintubuli zu reinigen, stehen dem Zahnarzt zahlreiche Systeme zur Aktivierung der Spülflüssigkeiten zur Verfügung. Diese Übersichtsarbeit soll die physikalischen Hintergründe beleuchten und einen kritischen Überblick über die Literatur geben.

### ■ Einleitung

Einer Erkrankung der Pulpa und des periapikalen Gewebes liegt immer eine mikrobielle Infektion des Endodonts zugrunde<sup>1,2</sup>. Der Erfolg einer endodontischen Therapie ist daher maßgeblich sowohl von der Entfernung der Bakterien und ihrer Nebenprodukte als auch des vitalen und nekrotischen Gewebes abhängig. Mikroorganismen gelangen in Dentintubuli, Isthmen, laterale Kanäle und apikale Ramifikationen<sup>3</sup> und etablieren dort einen Biofilm<sup>4</sup>. Selbst mit modernsten Techniken ist es nicht möglich, das Wurzelkanalsystem vollständig zu instrumentieren<sup>5,6</sup>. Durch die mechanische Bearbeitung des Wurzelkanalsystems entstehen zusätzlich eine Schmierschicht und Debris, welche die Dentintubuli und vorhandene Irregularitäten zusätzlich verblocken. In diesen Nischen können Mikroorganismen verbleiben und zu einer erneuten oder persistierenden Infektion des gesamten Wurzelkanalsystems führen, was einen endodontischen Misserfolg zur Folge haben kann. Daher stellt die chemische Desinfektion mithilfe geeigneter Spüllösungen einen essenziellen Schritt der

Therapie dar. Gegenwärtig ist keine Spüllösung in der Lage, alle Anforderungen an die Desinfektion alleine zu erfüllen. Daher ist es notwendig, verschiedene Lösungen zu kombinieren, um sie in einem synergistisch abgestimmten Spülprotokoll sinnvoll einzusetzen. Doch auch diese Spüllösungen sind nur dann antibakteriell wirksam, wenn sie in direkten Kontakt zu den Mikroorganismen gebracht werden können. Wird die Spüllösung ausschließlich über eine Spülkanüle in den Wurzelkanal eingebracht, kann sie nicht in unzugänglichen Arealen wie Isthmen, lateralen Kanälen, Ausbuchtungen und Dentintubuli wirksam werden. Die konventionelle Spülung kann nicht die notwendige Strömungskraft aufbringen, um Scherkräfte zu entwickeln, die eine Ablösung des Biofilms oder Smear Layers von der Wurzelkanalwand ermöglichen. Um dies zu verbessern, wurden diverse Methoden und Systeme zur Aktivierung von Spüllösungen entwickelt. In diesem Artikel sollen, basierend auf einer Literaturrecherche, die verschiedenen Methoden der Aktivierung von Spüllösungen im Wurzelkanal beleuchtet und kritisch diskutiert werden.



MASTERSTUDIENGANG  
ENDODONTOLOGIE  
DÜSSELDORF  
DENTALACADEMY

**Patrick Brandt**  
Zahnarzt  
Hochleitner Zahnärzte  
Heidenholzstraße 2  
83071 Stephanskirchen

**David Sonntag**  
PD Dr. med. dent.  
Poliklinik für  
Zahnerhaltungskunde,  
Parodontologie und  
Endodontologie  
Heinrich-Heine-Universität  
Düsseldorf  
Moorenstr. 5  
40225 Düsseldorf

Korrespondenzadresse:  
Patrick Brandt  
E-Mail: patrickbrandt2001@  
yahoo.de

**Manuskript**  
Eingang: 07.01.2016  
Annahme: 11.02.2016

Die Literaturrecherche erfolgte über PubMed unter Verwendung folgender Suchbegriffe: irrigation, activation, ultrasonic, sonic, photon initiated photoacoustic streaming (PIPS), ozone, EndoVac, Endo-Activator, RinsEndo. Zusätzlich wurden die Datenbanken von Wiley und Scencedirect verwendet. Ergänzt wurde die Suche durch eine Rückwärtssuche und Handsuche.

## ■ **Ultraschall**

Als Ultraschall bezeichnet man Schallwellen, die oberhalb der Schwelle des menschlichen Gehörs liegen. Diese Schwelle liegt bei 20 kHz. Heutige Ultraschallgeräte arbeiten mit Frequenzen im Bereich zwischen 25 kHz und 40 kHz<sup>7</sup>. Grundsätzlich kann man Ultraschallenergie auf zwei Arten erzeugen: mithilfe von Magnetostriktion oder Piezoelektrizität<sup>7</sup>.

Das Prinzip der Magnetostriktion beruht darauf, dass an einem magnetischen Werkstoff eine magnetische Spannung angelegt wird und diesen verformt. Ändert sich dieses elektromagnetische Feld, wird elektrische Energie in mechanische umgewandelt. Auf diese Weise ist es möglich, Vibrationen zu erzeugen<sup>8,9</sup>.

Die Piezoelektrizität macht sich die Eigenschaft bestimmter Kristalle zu Nutze, die sich bei Anlegen einer elektrischen Spannung verformen. Diese Deformation führt zu Schwingungen im Kristall, die dann in Form mechanischer Vibrationen genutzt werden können<sup>8</sup>. Die Vibrationen werden während einer ultraschallaktivierten Spülung nun eingesetzt, um die desinfizierenden und mechanischen Eigenschaften einer herkömmlichen Spülung mit Spritze und Kanüle zu verbessern, indem die Energie des Ultraschalls auf die Flüssigkeit übertragen wird. In der Endodontie werden piezoelektrische Geräte den magnetostriktiven vorgezogen, da sie weniger Wärme produzieren und ihr Bewegungsmuster für die Gegebenheiten im Wurzelkanal vorteilhafter sind<sup>8,10</sup>. Die erzeugten Effekte werden als „acoustic (micro) streaming“ und „Kavitation“ beschrieben. Sie entstehen jedoch nicht separat, sondern die Kavitation entsteht dabei in Verbindung eines Strömungsfelds<sup>11</sup>.

Das „acoustic (micro) streaming“ bezeichnet eine entlang der Längsachse der Feile gerichtete Verwirbelung der Spüllösung mit Schwingungsknoten und -bäuchen<sup>12</sup>. Durch die Vibration der Feile werden Druckwellen produziert, die ausreichende Scherkräfte an der Kanalwand erzeugen, um dort Material abzulösen (Debridement). Zusätzlich wird durch diesen Effekt der Austausch der Spülflüssigkeit im apikalen Anteil des Wurzelkanals gefördert<sup>13</sup>. Dieser Effekt konnte auch in engen Wurzelkanälen nachgewiesen werden<sup>14</sup>.

Die Kavitation existiert in einer stabilen, nicht so energiereichen, und einer transienten, hochenergetischen Form. Durch die Vibrationen entstehen Gasblasen, die beim Kollabieren durch das Freisetzen von hoher Temperatur, Druck und Energie lokal extrem hohe Scherkräfte erzeugen. Diese sind stark genug, um einen Abtrag an der Kanalwand zu ermöglichen und treten bis 0,5 mm entfernt von der Instrumentenspitze auf<sup>15</sup>. Der Nachweis der Kavitation ist mithilfe der Sonochemiluminescence möglich. Beim Kollabieren werden OH<sup>-</sup>-Ionen frei, die angereichert durch geeignete Moleküle zum Leuchten gebracht und gemessen werden können<sup>16</sup>.

Bereits in den 80er Jahren konnte Kavitation nachgewiesen werden, wenn der Wurzelkanal bis zu einer Größe von ISO 40 erweitert wird und die Schwingungsamplitude der Feile mindestens 135 µm aufweist<sup>17</sup>. Zehn Jahre später kamen Ahmad und Roy zu der Schlussfolgerung, dass es nicht zu einem Kavitationseffekt im Wurzelkanal kommen kann, da die Amplitude der Feile durch den Wandkontakt zu stark verringert wird<sup>18</sup>. Eine weitere Studie untersuchte mit vorgebogenen Feilen den Effekt von Ultraschall in gekrümmten Wurzelkanälen und kam ebenfalls zu dem Ergebnis, dass es aufgrund von Wandkontakt kaum zu einer gesteigerten Reinigungswirkung kommen kann<sup>19</sup>. Neuere Untersuchungen belegen jedoch das Auftreten von Kavitation während einer ultraschallaktivierten Spülung, auch wenn die Auslenkung der Feile durch Wandkontakt um 40 % verringert wird und sehr hohe Geräteeinstellungen dafür notwendig sind<sup>20,21</sup>. Dieser Effekt reicht bis 2 mm über die Instrumentenspitze hinaus, wird nicht von Kanalkrümmungen beeinflusst<sup>22</sup> und kann sowohl in geraden als auch gekrümmten Kanälen nachgewiesen werden<sup>23</sup>.

## ■ Schall

Der Frequenzbereich von Schall liegt unterhalb von 20 kHz<sup>8</sup>. Das Bewegungsmuster unterscheidet sich von dem der Ultraschallbewegung durch eine deutlich größere Bewegungsamplitude und nur einen Schwingungsknoten<sup>24,25</sup>. Ein System, das in diesem Frequenzbereich arbeitet, ist der EndoActivator (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz; Abb. 1 und 2). Es handelt sich hierbei um ein batteriebetriebenes Handstück mit drei Einstellungsmöglichkeiten in den Bereichen 2.000, 6.000 und 10.000 Umin<sup>-1</sup>. Der Einstellungsmodus von 10.000 Umin<sup>-1</sup> wird für die Aktivierung der Spülflüssigkeit empfohlen. Drei Polymer-spülansätze in den Größen ISO 15/.02, ISO 25/.04 und ISO 35/.04 stehen zur Verfügung. Diese als Einmalartikel konzipierten 22 mm langen Spitzen werden einfach auf den Kopf des Handstücks gedrückt und auf Arbeitslänge –2 mm in den Wurzelkanal eingebracht ohne zu klemmen. Im Anschluss an die Präparation soll zunächst EDTA für 60 Sekunden aktiviert werden und dann NaOCl für 30 Sekunden pro Kanal. Diese Zeiten werden nach Herstellerangabe benötigt, um die Flüssigkeit hydrodynamisch zu aktivieren. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt, bis im Kavum keine Debrisrückstände mehr zu erkennen sind<sup>26</sup>.

Ebenfalls in Schallfrequenz vibriert die Polymer-spitze EDDY (VDW, München; Abb. 3), die aber nur in einer Größe (ISO 25) erhältlich ist. Studien über Effektivität und Sicherheit dieser Aktivierungstechnik liegen bislang noch nicht vor. Der Unterschied zum EndoActivator besteht vermutlich in einer anderen Hydrodynamik: Während der Flüssigkeitsfilm zwischen Spitze und Wurzelkanalwand bei Aktivierung des EndoActivator relativ dünn sein dürfte, schwingt die EDDY-Spitze eher frei innerhalb der Lösung.

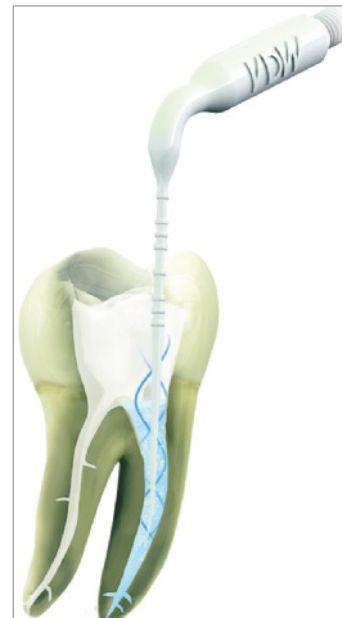
Ein weiteres mit Schallfrequenz arbeitendes Gerät ist das Vibringe (Vibringe B.V. Corp., Amsterdam, Niederlande; Abb. 4). Es besteht aus einem Aluminiumkörper und einem Kunststoffhandgriff. Die Schalltechnologie wird über einen patentierten Mikroprozessor gesteuert. Nach Herstellerangaben erzeugt das Gerät Vibrationen von 150 Hz. Das Handstück wird auf herkömmliche Einwegspritzen der Größe 10 ml aufgesteckt und die Schallimpulse direkt auf die Flüssigkeit übertragen. Das Handstück besitzt einen im Fingerring integrierten Akku, der über Induktion aufgeladen wird. Vibringe ist nicht sterilisierbar<sup>27</sup>.



**Abb. 1** Entlang der Längsachse einer Ultraschallfeile gerichtete Verwirbelungen der Spülflüssigkeit in einer „Vortex“-Bewegung. Dieses Phänomen beschreibt das „acoustic (micro) streaming“.



**Abb. 2** Batteriebetriebener EndoActivator.



**Abb. 3** Polymer-spitze EDDY mit einer Größe von ISO 25. Die im Schallbereich arbeitende Spitze soll im Gegensatz zum EndoActivator mehrere Schwingungsknoten aufweisen.



**Abb. 4** Aufgesetzter Vibringe-Ansatz. Dieser besitzt einen integrierten Akku und überträgt direkt die Schallimpulse auf die Spüllösung.



**Abb. 5** Arbeitsspitze eines Er:YAG-Lasers.

## ■ Laser (PIPS)

Der für die Aktivierung von Spüllösungen durch Photon Initiated Photoacoustic Streaming (PIPS) effektivste Laser ist der Er:YAG-Laser. Dies ist ein Festkörperlaser, der als aktives Medium ein Erbium dotiertes YAG (Yttrium Aluminium Granat)-Kristall verwendet und Strahlung im Infrarotbereich aussendet (Abb. 5). Aufgrund seiner Wellenlänge von 2.940 nm liegt die Strahlung in einem für Wasser optimales Absorptionsmaximum bei gleichzeitig geringer Eindringtiefe<sup>28</sup>. Diese Eigenschaften machen diesen Laser für die Desinfektion des Wurzelkanals mit Spülflüssigkeiten so effizient. Zudem besitzt er eine hohe Affinität zu Hydroxylapatit<sup>28</sup>. Die gesteigerte desinfizierende und reinigende Wirkung durch PIPS beruht, wie bei der Anwendung der passiven Aktivierung mit Ultraschall, auf dem Kavitationseffekt. Die Spülflüssigkeit verdampft durch den Laserimpuls und lässt eine große Gasblase an der Glasfaserspitze entstehen. Diese wächst mit einer Geschwindigkeit von 1 m/s während der Pulsphase. Am Ende des Pulses kollabiert die Blase mit derselben Geschwindigkeit. Durch die freiwerdende Energie entsteht eine Schockwelle, die wiederum eine Kavitationsblase auslöst und somit eine Kettenreaktion verursacht. Die meisten Blasen entstehen dabei im koronalen Drittel. Es wird vermutet, dass durch die transiente Kavitation der Flüssigkeitsfluss so stark ist, dass in Kombination mit dem entstehenden „acoustic streaming“ und der sich darin immer neu bildenden vibrierenden Blasen der reinigende und debrisabtragende Effekt entsteht<sup>4,29</sup>.

## ■ Ozon

Eine weitere Möglichkeit zur Keimreduktion im Wurzelkanal stellt der Einsatz von Ozon dar, dessen desinfizierende Eigenschaften schon seit langem bekannt sind. Ozon wird seit vielen Jahren für die Aufbereitung von Trinkwasser<sup>30</sup> und in der Lebensmittelindustrie zur Desinfektion eingesetzt<sup>31</sup>. Es ist ein hochreaktives Gas, welches auf natürliche Weise in der Atmosphäre vorkommt und antimikrobielles Potenzial aufweist<sup>32</sup>. Das aus drei Sauerstoffatomen bestehende Molekül liegt bei Raumtemperatur in gasförmigem Aggregatzustand vor und ist bis zu einer Konzentration von 0,01 ppm geruchlos<sup>33</sup>. Die antimikrobielle Wirkung beruht auf dem schnellen Zerfall des Ozons in Disauerstoff ( $O_2$ ) und ein Sauerstoffradikal ( $O^-$ ). Dieses als Singulett-sauerstoff bezeichnete Radikal zerstört Bestandteile der Zellwände von Bakterien und Pilzen und macht sie durchgängig für weitere Ozonmoleküle<sup>33</sup>. Auf diese Weise wird das osmotische Gleichgewicht zerstört und der Zelltod herbeigeführt<sup>4,32</sup>. Ozon kann auch als Ozonwasser eingesetzt werden. Der Vorteil liegt in der leichteren Handhabung gegenüber der gasförmigen Applikation. Es weist keinerlei toxische Eigenschaften auf und besitzt nachweislich sehr hohe antibakterielle Eigenschaften<sup>34</sup>. Hems et al. zeigten, dass Ozonwasser hochwirksam gegenüber planktonischem *E. faecalis* ist<sup>35</sup>. Ein Problem der wässrigen Applikationsform liegt darin, dass noch widersprüchliche Aussagen bezüglich der idealen Einwirkzeit und Konzentration vorliegen.

Eine weitere Abwendung von Ozon besteht in der Anreicherung in Öl, um so als medikamentöse Einlage





Abb. 6 Das HealOzone Tischgerät mit Handstück.

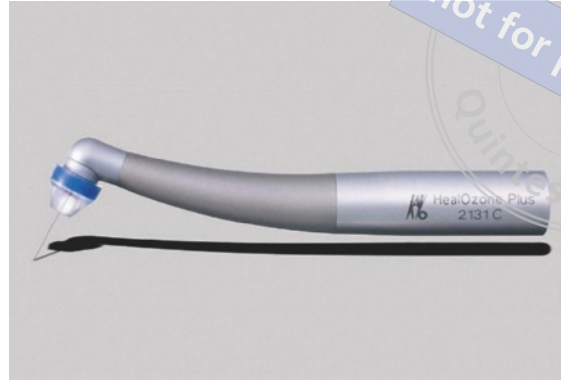


Abb. 7 Das Handstück des HealOzone mit aufgesetztem Silikonkelch und Kanüle. Auf diese Weise kann ein Vakuum erzeugt und das Ozon direkt in den Zahn appliziert werden.

eingesetzt werden zu können. Eine In-vivo-Studie an Hunden zeigte ähnliche Ergebnisse wie eine Kalziumhydroxideinlage<sup>36</sup>. Die Firma Curozone (Wiesbaden) bietet mit HealOzone X4 ein Gerät der neuesten Generation für die dentale Ozontherapie an (Abb. 6 und 7). Ein speziell für die endodontische Nutzung entwickelter Ansatz verfügt über eine Kanüle, die eine Applikation direkt in das koronale Wurzelkanal-drittel ermöglicht. Die Ansätze sind mit einem Silikonkelch versehen, der sich der Form des Zahns exakt anpasst. Zusammen mit einer Vakuumpumpe wird die Kavität dadurch abgedichtet, sodass das Gas nicht entweichen kann. Das Gerät wandelt Sauerstoff aus der Umgebung in Ozon um und beschreibt den „Low Dosage“-Modus. Im „High Dosage“-Modus ist es möglich, aus reinem Sauerstoff mithilfe einer angeschlossenen Sauerstoffflasche höher dosiertes Ozon herzustellen. Das Gas wird dann über ein Winkelstück in den Zahn geleitet und daraufhin über eine Pumpe abgesaugt. Im Anschluss wird das Gas wieder über einen Ozon-Neutralisator als Sauerstoff an die Umgebung abgegeben<sup>37</sup>.

## ■ Unterdruck (EndoVac)

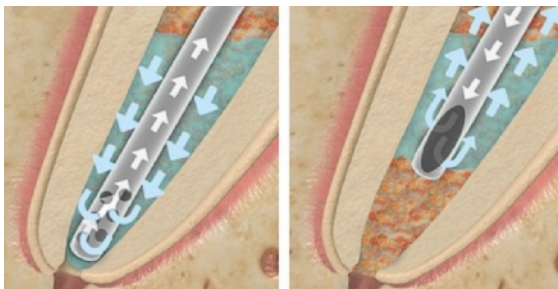
Das EndoVac-System (Discus Dental, Culver City, CA, USA; Abb. 8) arbeitet im Gegensatz zu den bereits vorgestellten Systemen nicht mit positivem, sondern mit negativem apikalem Druck. Dem Gedanken, ein System mit Unterdruck zu entwickeln, liegt die Tatsache zugrunde, dass bei den herkömm-

lichen Spülmethode mit Überdruck immer das Risiko einer Überpressung des Spülmediums in periapikale Bereiche besteht. Bleibt man jedoch mit der Spülung zu weit vom Apex entfernt, wird der wichtige apikale Anteil nicht gereinigt. Dass durch das „negative pressure system“ EndoVac die Wahrscheinlichkeit einer Überspülung deutlich verringert oder sogar ausgeschlossen werden kann, belegen zahlreiche Studien<sup>38–40</sup>.

Der sogenannte „Multiportadapter“ ist auto-klavierbar und wird direkt an die Absaugung der Behandlungseinheit angeschlossen. Er dient als Verteiler für die notwendigen Schläuche, die für das EndoVac-System notwendig sind. An diesen wird der „Master Delivery Port“ angeschlossen. Dies ist ein nur in das Pulpakavum reichender Ansatz, mit dem die Spülflüssigkeit gleichzeitig in den Zahn appliziert und, da an die Absaugung über den „Multiportadapter“ angeschlossen, wieder abgesaugt wird. Um nun einen Unterdruck im Wurzelkanal erzeugen zu können, der die Spüllösung über einen Sog passiv nach apikal zieht, stehen eine „Makrokanüle“ und eine „Mikrokanüle“ zu Verfügung (Abb. 9). Die Makrokanüle besteht aus Plastik und hat eine Größe von ISO 55 mit Taper 02 und ist für das koronale und mittlere Kanaldrittel geeignet. Hier werden initial anfallende grobe Dentinspäne oder Gewebereste abgesaugt, welche die „Mikrokanüle“ leicht verstopfen würden. Die abschließende Reinigung bis exakt auf Arbeitslänge wird mit der „Mikrokanüle“ durchgeführt. Sie ist aus Stahl gefertigt, weist einen Außendurchmesser von ISO 32 auf und besitzt an ihrem Arbeitende lasergebohrte Öffnungen, die für den



**Abb. 8** Das EndoVac-System besteht aus dem Multiport-adapter (wird an die Saugeinheit angeschlossen), dem Master Delivery Port (dient zum Einbringen der Spüllösung in das Kavum) und aus der Micro- und Macrokanüle (v. li.).



**Abb. 9** Die Funktionsweise der Macrokanüle (rechts) und der Microkanüle (links) des EndoVac-Systems.



**Abb. 10** Das RinsEndo-Handstück mit Anschluss an die Turbinenkupplung. Die aufgesetzte Einmalspritze kann mit jeder beliebigen Spüllösung befüllt werden.

Unterdruck verantwortlich sind<sup>41,42</sup>. Das hat zur Folge, dass für den effektiven Einsatz des EndoVac ein Wurzelkanal bis mindestens ISO 35 oder besser noch bis ISO 40 aufbereitet werden muss, um gewährleisten zu können, dass die „Mikrokanüle“ ohne zu klemmen auf Arbeitslänge eingebracht werden kann.

## ■ Saug-Druck-Technik (RinsEndo)

Einen weiteren Ansatz zur Aktivierung der Spüllösung bietet das RinsEndo-System (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen; Abb. 10), das eine sogenannte „hydrodynamische“ Spülung<sup>26</sup> ermöglicht. Das Handstück aus Titan wird auf die Turbinenkupplung der Behandlungseinheit aufgesteckt. Über eine Pumpe im Handstück wird eine beliebige Spüllösung aus einer aufgesetzten Luer-Lock-Spritze der Größe 5 oder 10 ml angesaugt und mit einer Geschwindigkeit von  $6,2 \text{ ml/min}^{-1}$  abgegeben<sup>26</sup>. Diese Geschwindigkeit liegt nach Herstellerangabe weit unter den Flussraten, die mit einer konventionellen Spülung von Endodontologen erreicht werden. Zusätzlich wird dabei die Spüllösung über das Handstück mit einer Frequenz von 1,6 Hz oszillierend aktiviert<sup>43</sup>. In der anschließenden Saugphase wird das abgegebene Volumen einschließlich der Luft wieder eingesaugt. Dabei wird die Spüllösung mit dem ebenfalls eingesaugten Sauerstoff angereichert und so die oxidative Wirkung gesteigert. Nach Herstellerangabe ist es ausreichend, die dünne Kanüle nur in das koronale Drittel des Wurzelkanals einzuführen. Die Spülkanüle besitzt ein abgerundetes Ende mit einer 7 mm langen seitlichen Öffnung<sup>26</sup>. Auf diese Weise kann die Spüllösung seitlich austreten, um den hohen apikalwärts gerichteten Druck zu entschärfen<sup>44</sup>. Eine auf der Kanüle aufgesetzte Schutzkappe dient als Längenmarkierung und Spritzschutz. Trotz der Saugfunktion des Handstücks wird zusätzlich ein Speichelzieher benötigt.

## ■ Wärme

Die antibakterielle Potenz von NaOCl ist abhängig von der Konzentration, der Kontaktzeit, dem Umsatz, der Aktivierungsmethode und der Temperatur<sup>44</sup>. Daher stellt die Erwärmung der Spüllösung eine weitere Möglichkeit dar, die Effektivität der Desinfektion zu erhöhen<sup>44</sup> und ist so der Verwendung einer höher konzentrierten Lösung vorzuziehen, da diese eine gesteigerte Toxizität aufweist<sup>46</sup>. Der erhöhten Wirkung einer erwärmten Lösung liegen ein Anstieg der chemischen Reaktionsfähigkeit der Moleküle und ein optimiertes Fließverhalten zugrunde<sup>46</sup>. Zahlreiche Studien bestätigen die verbesserten ge-

webeauflösenden und antibakteriellen Eigenschaften von erwärmtem NaOCl<sup>47–50</sup> und belegen, dass diese Lösungen für 30 Tage stabil bleiben<sup>46</sup>. Dementsprechend konnten Dumitriu et al. in ihrer Arbeit zeigen, dass eine 1%ige Spülung bei 36°C dasselbe gewebeauflösende und antibakterielle Potenzial aufweist wie eine 5%ige Lösung bei 20°C<sup>51</sup>. Aufgrund einer sofortigen Angleichung der Temperatur der erwärmten Flüssigkeit an die Körpertemperatur ist derzeit noch unklar, ob die besseren chemischen Eigenschaften eine entsprechend verbesserte klinische Prognose zur Folge haben<sup>52</sup>.

## ■ Entfernung des Smear Layers

Smear Layer entsteht während der Instrumentierung des Wurzelkanals<sup>53</sup>. Er besitzt eine amorphe Struktur und enthält Odontoblastenfortsätze, Gewebereste, Dentinspäne und im Falle eines infizierten Zahns auch Mikroorganismen<sup>54</sup>. Man kann eine oberflächliche Schicht mit ca. 1 bis 2 µm und eine tiefe Schicht, die bis zu 40 µm in Dentintubuli reicht, unterscheiden<sup>54</sup>. Diese Auflagerung auf der Kanalwand macht es unmöglich, darunterliegende Mikroorganismen zu entfernen. Mehrere Studien zeigten, dass sich eine Smear-Layer-Entfernung als vorteilhaft erweist, sowohl in Bezug auf die apikale und koronale Abdichtung, als auch für die Anheftung des Sealers an die Kanalwand<sup>55,56</sup>. Aufgrund seiner organischen und anorganischen Anteile ist es nicht möglich, den Smear Layer mit nur einer Spüllösung zu entfernen. Das gängigste Spülprotokoll besteht aus der Kombination von Natriumhypochlorit und einem Chelatbildner, wie EDTA oder Zitronensäure<sup>53</sup>. Torres et al. untersuchten die Effektivität des EndoActivator zur Entfernung des Smear Layer und kamen zu dem Ergebnis, dass die Schallaktivierung keine Verbesserung zur Folge hat<sup>57</sup>. Im Gegensatz dazu konnte ein Vergleich zwischen dem EndoActivator und dem RinsEndo-System zeigen, dass eine Aktivierung eine signifikant effektivere Entfernung des Smear Layers bewirkt und der EndoAktivator dabei im mittleren und apikalen Drittel überlegen<sup>58</sup> sowie in geraden Wurzelkanalanteilen signifikant effektiver ist als in gekrümmten Abschnitten<sup>59</sup>. Ebenfalls eine Überlegenheit der Aktivierungssysteme gegenüber kon-

ventioneller Spülung konnten Blank-Goncalves et al. zeigen<sup>60</sup>. Die passive Ultraschallaktivierung und der EndoActivator erreichten 80 % Smear Layer freie Wurzelkanäle. Die bisher genannten Studien verdeutlichen, dass die mit positivem Druck arbeitenden Systeme eine Abnahme in der Effektivität von koronal nach apikal aufweisen. Abarajithan et al. untersuchten das EndoVac-System im Vergleich zu einer herkömmlichen Spülung<sup>61</sup>. Die Resultate bestätigten die gute Reinigungsleistung der Spritzenspülung im koronalen Abschnitt. Demgegenüber erzielte das Unterdrucksystem im apikalen Drittel (bis 3 mm vor Apex) signifikant besser gesäuberte Kanalwände.

Saber und Hashem konnten die überlegene Smear-Layer-Entfernung im apikalen Wurzeltrakt durch das EndoVac-System bestätigen<sup>62</sup>. Sowohl die Aktivierung mit Unterdruck als auch die manuell durch Pumpbewegungen mit Guttaperchaspitzen aktivierte Spülung zeigten signifikant weniger Smear Layer als die Ultraschallaktivierung. Im apikalen und mittleren Kanaltrakt arbeitete der EndoVac deutlich effektiver als alle anderen Gruppen. Eine weitere Studie kommt ebenfalls zu der Schlussfolgerung, dass die Aktivierung mit PUI keine bessere Schmierschichtentfernung erreicht<sup>63</sup>. Mancini et al. analysierten den EndoActivator, PUI und EndoVac an einwurzligen Zähnen 1, 3, 5 und 8 mm vor dem Apex<sup>64</sup>. Die schallbasierte Spülung war bei 3, 5 und 8 mm Abstand der Ultraschallgruppe signifikant überlegen. Die Spülung mit dem EndoVac-System zeigte in allen Abschnitten die saubersten Wände und war allen anderen Spülmethoden deutlich überlegen. Die Autoren schlussfolgerten, dass die wirkungsvollste Kombination zur Schmierschichtentfernung aus einer Schallaktivierung und dem abschließenden Spülen mit Unterdruck darstellt.

Da Costa Lima et al. veranschaulichten, dass die Spülung mit Ultraschall 56,6 % schmierschichtfreie Bereiche erreichte und somit signifikant besser abschnitt als die Laseraktivierung (Nd:YAG) mit 30 % sauberen Kanalwänden<sup>65</sup>. Mit den anderen Methoden war es nicht möglich, Smear Layer freie Areale zu bekommen.

## ■ Entfernung von Debris

Debris besteht aus Dentinspänen, Toxinen, Pulpagewebe, Mikroorganismen und Biofilm<sup>66</sup>. Zahlreiche

Studien belegen, dass es aufgrund des komplex aufgebauten Wurzelkanalsystems mit Irregularitäten und Ausbuchtungen unmöglich ist, durch rein mechanische Instrumentation oder herkömmliche Spülmethode ein effizientes Debridement durchzuführen<sup>67–71</sup>. Eine konventionelle Spülung zeigt im koronalen Drittel eine gute Reinigungsleistung<sup>72</sup>. Die Effizienz nimmt jedoch apikalwärts stetig ab, sodass durch Spülung mit dem Unterdrucksystem EndoVac im Bereich 1 mm vor Apex Debris signifikant effektiver entfernt wird<sup>73,74</sup>. Das Debridement wird noch effizienter, wenn die Wurzelkanäle zuvor auf eine Größe von ISO 40 oder ISO 60 erweitert werden<sup>75</sup>. Die Datenlage für eine Ultraschallaktivierung ist nicht eindeutig. Es konnte gezeigt werden, dass bei höherer Geräteeinstellung die Effizienz gesteigert werden kann<sup>76</sup>. Da diese Parameter im Versuchsaufbau selten angegeben werden, ist ein direkter Vergleich nur unzureichend möglich. Freire et al. verglichen in ihrer Arbeit das EndoVac-System mit einer Ultraschallaktivierung<sup>77</sup>. Die Ergebnisse zeigten, dass keines der Verfahren überlegen war. Im Vergleich mit dem schallbasierten System EndoActivator zeigte die Ultraschallgruppe auf 3 und 5 mm vor dem Apex deutlich schlechtere Ergebnisse<sup>78</sup>. Rödiger et al. konnten in ihrer Vergleichsstudie mit Vibringer eine signifikant bessere Debrisentfernung für die Ultraschallgruppe aufzeigen<sup>79</sup>. Ein Wirkungsverlust der Ultraschallenergie durch Wandkontakt in engen oder gekrümmten Kanälen ist kaum zu kontrollieren<sup>80</sup>. Arslan et al. und de Moor et al. verglichen die photoakustische Schockwelle eines Lasers mit der Aktivierung durch Ultraschall und konnten beide signifikant bessere Ergebnisse für die laserunterstützte Spülung präsentieren<sup>81,82</sup>.

### ■ Seitenkanäle und Isthmen

Die Reinigung von Seitenkanälen und Isthmen stellt einen schwierigen und technisch anspruchsvollen Arbeitsschritt dar. 73 % der Apikalregionen von Molaren weisen Seitenkanäle auf, lediglich 7 % befinden sich im koronalen Drittel<sup>83</sup>. Die höchste Inzidenz von Isthmen wird für den ersten Unterkiefermolaren mit 88 % angegeben, gefolgt von 60 % für den ersten Oberkiefermolaren<sup>84</sup>. Untersucht man das

EndoVac-System auf die Reinigungsleistung in diesen Bereichen, zeigen die Ergebnisse eindeutig eine sehr gute Effektivität in der Reinigung des Hauptkanals auf Arbeitslänge, jedoch keine Wirkung in Seitenkanälen oder Isthmen<sup>85,86</sup>. Eine überlegene Desinfektion der mechanisch nicht zu erfassenden Bereiche wird durch die ultraschallaktivierte Spülung erreicht<sup>87,88</sup>. Dabei wird die Effektivität nicht durch die Position oder den Winkel der Seitenkanäle beeinflusst<sup>89</sup>. Eine interessante modifizierte Technik für den Einsatz des EndoVac-Systems zeigten Thomas et al.<sup>90</sup>. Bei Vorliegen eines Isthmus spülten sie die mesio-bukkale Kanäle auf Arbeitslänge –1 mm mit einer konventionellen Spritze und saugten die Lösung mit der Mikrokanüle des Unterdrucksystems aus den korrespondierenden mesiolingualen Kanälen ab und erreichten so signifikant besser gereinigte Isthmen verglichen mit Ultraschall oder Schall<sup>90</sup>. Den antibakteriellen Effekt von ozonangereichertem Wasser in Dentintubuli untersuchten Nagayoshi et al. und schlussfolgerten, dass eine Ultraschallaktivierung der Ozonlösung genauso wirksam ist wie eine konventionelle Spülung mit NaOCl, mit dem Vorteil einer deutlich geringeren Toxizität gegenüber Fibroblasten<sup>91</sup>. Die einzige Technik, die eine signifikant bessere Reinigung apikaler Seitenkanäle generieren konnte, war die Aktivierung mit einem Festkörperlaser (PIPS). Arslan et al. zeigten eine Überlegenheit des Lasers im Vergleich zu einer Schall- bzw. Ultraschallaktivierung<sup>92</sup>.

### ■ Antibakterielle Wirkung

Die Hauptursache einer Pulpanekrose oder apikalen Parodontitis ist die mikrobielle Besiedelung des Endodonts. Eine effektive Reduzierung der intrakanalären Infektion stellt somit einen zentralen Punkt jeder Wurzelkanalbehandlung dar. Die vorliegenden Studien zeigen für die schallbasierte Aktivierung und das Unterdrucksystem kontroverse Ergebnisse bezüglich ihrer antibakteriellen Effektivität gegenüber *E. faecalis*-Biofilmen verglichen mit konventionellen Spülmethode<sup>93–96</sup>. Peters et al. bewiesen, dass die Verwendung eines Er:YAG-Lasers im Vergleich mit einer passiven Ultraschallaktivierung zu einer signifikant besseren Bakterienreduktion führt<sup>97</sup>. Hierzu muss der Wurzelkanal mit einer desinfizierenden



Flüssigkeit gefüllt sein<sup>98</sup>, da der Laserimpuls ohne den Energieübertrag in Form einer Schockwelle kein antibakterielles Potenzial entwickeln kann<sup>99</sup>. Der Einsatz von Ozon in Form von Wasser oder Gas ist zeit- und dosisabhängig<sup>100</sup> und zeigt antibakterielle Eigenschaften ausschließlich gegenüber planktonischen Bakterien<sup>101</sup>.

## ■ Extrusion von Spüllösung

Um das Endodont effektiv desinfizieren zu können, ist es unumstritten erforderlich, das Spülmedium so nah wie möglich an die Arbeitslänge zu befördern, was mit herkömmlichen Methoden das Risiko einer Extrusion mit sich bringt und postoperative Beschwerden zur Folge haben kann<sup>102</sup>. Gegenwärtig bietet die Arbeit mit dem EndoVac-System die höchste Sicherheit gegen die apikale Extrusion von Spülflüssigkeiten, auch bei Insertion auf komplette Arbeitslänge<sup>40,103</sup>. Eine extendierte apikale Erweiterung auf ISO 50 gegenüber ISO 35 bedeutet dabei kein gesteigertes Risiko einer Überpressung<sup>104</sup>. Die ultraschall-<sup>105</sup> und lasergestützte Spülung (PIPS)<sup>104</sup> verursachen signifikant weniger Extrusion als eine konventionelle Spülung, trotz Verwendung eines „sideport“-Ansatzes und einem Sicherheitsabstand von 1 mm. Gondim et al. bestätigten signifikant weniger postoperative Beschwerden für das Unterdrucksystem<sup>106</sup>. Sie begründeten ihre Ergebnisse mit einer deutlich verminderten Extrusion dieser Methode.

## ■ Entfernung von Kalziumhydroxid (CaOH)<sub>2</sub>

Kalziumhydroxid ist aufgrund seiner guten Biokompatibilität und antibakteriellen Eigenschaften die meist verwendete medikamentöse Einlage<sup>107,108</sup>. Eine vollständige Entfernung dieser Einlage ist notwendig, um eine maximale Kontaktfläche zwischen Wurzelfüll-

material und Kanalwand zu erreichen<sup>109</sup>. Ein Zurückbleiben der Paste verhindert eine Sealerpenetration in die Dentintubuli und führt zu apikalem Leakage<sup>107,108</sup>. Der Einsatz einer Schallaktivierung verglichen mit einer nichtaktivierten Spülung stellt eine effektivere Methode dar, Ca(OH)<sub>2</sub> zu entfernen<sup>107</sup>. Studien, die eine ultraschallgestützte Spülung mit dem EndoActivator, EndoVac oder dem RinsEndo-System vergleichen, zeigen die signifikant besten Ergebnisse für die Ultraschallgruppen<sup>110–112</sup>. Die Entfernung von Ledermix gelingt im Vergleich zu Ca(OH)<sub>2</sub> um 40 % effektiver<sup>113</sup>. Arslan et al. veranschaulichten, dass die Spülung mit PIPS signifikant mehr Ca(OH)<sub>2</sub>-freie Wandabschnitte hinterlässt als die Bearbeitung mit Ultraschall oder Schallaktivierung<sup>114</sup>.

## ■ Schlussfolgerung

Der Überblick über die aktuelle Studienlage zeigt, dass es gegenwärtig mit keinem Aktivierungssystem gelingt, das Wurzelkanalsystem vollständig zu desinfizieren, Debris aus Irregularitäten zu entfernen sowie den Smear Layer und Biofilm komplett zu entfernen. Die Aufarbeitung der Literatur zeigt jedoch eindeutig, dass die Aktivierung der Spülflüssigkeit eine deutliche Verbesserung der chemischen Aufbereitung im Vergleich zu einer konventionellen Spülung mit Spritze und Nadel darstellt. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die ultraschallgestützte Spülung als Goldstandard angesehen werden kann. Einerseits sind der Wirkmechanismus und der sichere Einsatz von Ultraschall umfangreich untersucht und bestätigt, andererseits ist diese Methode für den Zahnarzt erschwinglich und in vielen weiteren Bereichen der endodontischen Therapie anwendbar. Ob die laserunterstützte Spülung (PIPS) in Zukunft die Ultraschallaktivierung ablösen wird, ist noch unklar. Hier bedarf es einer weiteren technischen Entwicklung, um die Anschaffungskosten zu reduzieren, sowie neuer Untersuchungen, um die Überlegenheit des Systems unstrittig darzulegen.

## ■ Literatur

1. Kakehashi S, Stanley HR, Fitzgerald RJ. The effect of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1965; 20:340–349.
2. Möller AJ, Fabricius L, Dahlen G, Ohman AE, Heyden G. Influence on periapical tissues of indigenous oral bacteria and necrotic pulp tissue in monkeys. *Scand J Dent Res* 1981;89:475–484.
3. Peters LB, Wesselink PR, Buijs JF, van Winkelhoff AJ. Viable bacteria in root dentinal tubules of teeth with apical periodontitis. *J Endod* 2001;27:76–81.
4. Kishen A. Advanced therapeutic options for endodontic biofilms. *Endodontic Topics* 2012;22:99–123.
5. Hülsmann M. Effects of mechanical instrumentation and chemical irrigation on the root canal dentin and surrounding tissues. *Endodontic Topics* 2013;29:55–86.
6. Peters OA, Schönenberger K, Laib A. Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int Endod J* 2001;34:221–230.
7. Yousefmaneh H, Robati M. A comparison of magnetostrictive and piezoelectric ultrasonic scaling devices: an in vitro study. *J Periodontol Implant Sci* 2012;42:243–247.
8. Park E. Ultrasonic in endodontics. *Endodontic Topics* 2013; 29:125–159.
9. Van der Sluis LWM, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *Int Endod J* 2007;40:415–426.
10. Plotino G, Pameijer CH, Grande NM, Somma F. Ultrasonics in endodontics: a review of the literature. *J Endod* 2007; 33:81–95.
11. Ahmad M, Pitt Ford TR, Crum LA. Ultrasonic debridement of root canals: an insight into the mechanisms involved. *J Endod* 1987;13:93–101.
12. Walmsley AD. Ultrasound and root canal treatment: the need for scientific evaluation. *Int Endod J* 1987;20:105–111.
13. Gulabivala K, Ng Y-L, Gilbertson M, Eames I. The fluid mechanics of root canal irrigation. *Physiol Meas* 2010; 31:R49–R84.
14. Ahmad M, Roy RA, Kamarudin AG. Observations of acoustic streaming fields around an oscillating ultrasonic file. *Endod Dent Traumatol* 1992;8:189–194.
15. Walmsley AD, Lea SC, Felver B, King DC, Price GJ. Mapping cavitation activity around dental ultrasonic tips. *Clin Oral Investig* 2013;17:1227–1234.
16. SuBlick KS, Doktycz SJ, Flint EB. On the origin of sonoluminescence and sonochemistry. *Ultrasonics* 1990;28:280–290.
17. Ahmad M, Pitt Ford TR, Crum LA, Walton AJ. Ultrasonic debridement of root canals: acoustic cavitation and its relevance. *J Endod* 1988;14:486–493.
18. Ahmad M, Roy RA. Some observations on the breakage of ultrasonic files driven piezoelectrically. *Endod Dent Traumatol* 1994;10:71–76.
19. Lumley PJ, Walmsley AD, Walton RE. Effect of pre-curving endodontic files on the amount of debris and smear layer remaining in curved root canals. *J Endod* 1992;18:616–619.
20. Jiang LM, Verhaagen B, Versluis M, Langedijk J, Wesselink P, Van der Sluis LWM. The influence of the ultrasonic intensity on cleaning efficacy of passive ultrasonic irrigation. *J Endod* 2011;3:688–692.
21. Boutsoukis C, Verhaagen B, Walmsley AD, Versluis M, Van der Sluis LWM. Measurement and visualization of file to wall contact during ultrasonically activated irrigation in simulated canals. *Int Endod J* 2013;11:1046–1055.
22. Malki M, Verhaagen B, Jiang LM, Nehme W, Naaman A, Versluis M, Wesselink P, Van der Sluis LWM. Irrigation flow beyond the insertion depth of an ultrasonically oscillating file in straight and curved root canals: visualization and cleaning efficacy. *J Endod* 2012;38:657–661.
23. Macedo R, Verhaagen B, Rivas DF. Cavitation measurement during sonic and ultrasonic activated irrigation. *J Endod* 2014;40:580–583.
24. Haapasalo M, Sheen Y. Current therapeutic options for endodontic biofilms. *Endodontic Topics* 2012;22:79–98.
25. Macedo R, Verhaagen B, Rivas DF. Cavitation measurement during sonic and ultrasonic activated irrigation. *J Endod* 2014;40:580–583.
26. Rödig T. Neue Systeme für die Wurzelkanalspülung. *Endodontie* 2010;19:197–198.
27. <http://www.vibringe.com/fileLib/manual-dui.pdf>
28. Pedulla E, Genovese C, Campagua E, Tempera G, Rapisarda E. Decontamination efficacy of photon-initiated photoacoustic streaming (PIPS) of irrigants using low-energy laser settings: an ex vivo study. *Int Endod J* 2012;45:865–870.
29. De Groot SD, Verhaagen B, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR, van der Sluis WM. Laser-activated irrigation within root canals: cleaning efficacy and flow visualization. *Int Endod J* 2009;42:1077–1083.
30. Paraskeva P, Lambert SD, Graham NJD. Influence of ozonation conditions on the treatability of secondary effluents. *Ozone Sci Engineering* 1998;20:133–150.
31. Güzel-Seydim ZB, Green AK, Seydim AC. Use of ozone in the food industry. *Lebensm Wiss Technol* 2004;37:453–460.
32. Marcedo CC, De Oliveira LD, Koga-Ito CY, Jorge AOC. Effectiveness of ozonated water on *Candida albicans*, *Enterococcus faecalis* and endotoxines in root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008;105:e85–e91.
33. Burkhardt L, Schäfer E. Ozon zur Wurzelkanal-desinfektion. *Endodontie* 2014;23:285–292.
34. Nagayoshi M, Kitamura C, Fukuizumi T, Nishihara T, Terashita M. Antimicrobial effect of ozonated water on bacteria invading dentinal tubules. *J Endod* 2004;30:778–781.
35. Helms RS, Gulabivala K, Ng YL, Ready D, Spratt DA. An in vivo evaluation of the ability of ozone to kill strain of *Enterococcus faecalis*. *Int Endod J* 2005;38:22–29.
36. Silveira AM, Lopes HP, Siqueira JF Jr, Macedo SB, Consolaro A. Periradicular repair after two-visit endodontic treatment using two different intracanal medications compared to single visit endodontic treatment. *Braz Dent J* 2007;18:299–324.
37. <http://www.healozone.de/de/healozone/heaozone-x4/funktionsprinzip.html>
38. Nielson BA, Baumgartner CJ. Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *J Endod* 2007; 33:611–615.
39. Iriboz E, Bayraktar K, Ürkaydin D, Tarcin B. Comparison of apical extrusion of sodium hypochlorite using 4 different root canal irrigation techniques. *J Endod* 2015;41:380–384.
40. Desai P, Van Himel. Comparative safety of various intracanal irrigation systems. *J Endod* 2009;35:545–549.
41. Gu LS, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *J Endod* 2009;35:71–804.
42. <http://www.sybronendo.com/cms-filesystem-action?file=/sybronendo-pdf/endovac-brochure.pdf>
43. Heistein S. Des Kaisers neue Kleider oder ein „must have“? *ZMK* 2007; 23:418–419.
44. Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod* 2006;32:389–398.
45. Hülsmann M, Hahn W. Complications during root canal irrigation-literature and case reports. *Int Endod J* 2000; 33:186–193.
46. Gambarini G, De Luca M, Gerosa R. Chemical stability of heated sodium hypochlorite endodontic irrigants. *J Endod* 1998;24:432–434.
47. Cunningham WT, Joseph SW. Effect of temperature on the bacterial action of sodium hypochlorite endodontic irrigant. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1980;50:569–571.

48. Sirtes G, Waltimo T, Schaetzle M, Zehnder M. The effects of temperature on sodium hypochlorite short-term stability, pulp dissolving capacity, and antimicrobial efficacy. *J Endod* 2005;3:669–671.
49. Stojicic S, Zivkovic S, Quain W, Zhang H, Haapasalo M. Tissue dissolution by sodium hypochlorite: effect of concentration, temperature, agitation and surfactant. *J Endod* 2010; 36:1558–1562.
50. Rossi-Fedele G, De Figueiredo JA. Use of a bottle warmer to increase 4% sodium hypochlorite tissue dissolution ability on bovine pulp. *Aust Endod J* 2008;24:39–42.
51. Dumitriu D, Dobre T. Effects of temperature and hypochlorite concentration on the rate of collagen dissolution. *J Endod* 2015;41:903–906.
52. De Hemptinne F, Slaus G, Vandendael M, Jacquet W, De Moor RJ, Bottenberg P. In vivo intracanal temperature evolution during endodontic treatment after the injection of room temperature or preheated sodium hypochlorite. *J Endod* 2015;41:1112–1115.
53. Haapasalo M, Quain W, Sheen Y. Irrigation: Beyond the smear layer. *Endodontic Topics* 2012;27:35–53.
54. Torabinejad M, Handysides R, Khademi AA, Bakland LK, Linda L. Clinical implications of the smear layer in endodontics: a review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2002;94:658–666.
55. Sharavan A, Hagdoost AA, Adl A, Rahimi H, Shadifar F. Effect of smear layer on sealing ability of canal obturation: a systematic review and meta-analysis. *J Endod* 2007;33:96–105.
56. Cbankara FK, Adanir N, Belli S. Evaluation of the influence of smear layer on the apical and coronal sealing ability of two sealers. *J Endod* 2004;30:406–409.
57. Uroz-Torres D, Rodríguez MP, Ferrer-Luque CM. Effectiveness of the EndoActivator system in removing the smear layer after root canal instrumentation. *J Endod* 2010;36:308–311.
58. Caron G, Nham K, Bronnec F, Machtou P. Effectiveness of different final irrigation activation protocols on smear layer removal in curved canals. *J Endod* 2010;36:1361–1366.
59. Rödiger T, Döllmann S, Konietschke F, Drebenstedt S, Hülsmann M. Effectiveness of different irrigant agitation techniques on debris and smear layer removal in curved root canals: a scanning electron microscopy study. *J Endod* 2010;36:1983–1987.
60. Blank-Goncalves LM, Nabeshima CK, Martins GH, De Lima Machado ME. Qualitative analysis of the removal of the smear layer in the apical third of curved roots: conventional versus activation systems. *J Endod* 2011;37:1268–1271.
61. Abarajithan M, Dham S, Velmurugan N, Valerian-Albuquerque D, Ballal S, Senthilkumar H. Comparison of EndoVac irrigation systems with conventional irrigation for removal of intracanal smear layer: an in vitro study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2011;112:407–411.
62. Saber S, Hashem AAR. Efficacy of different final irrigation activation techniques on smear layer removal. *J Endod* 2011;37:1272–1275.
63. Schmidt TF, Teixeira CS, Felipe MCS, Felipe WT, Pashley DH, Bortoluzzi EA. Effect of ultrasonic activation of irrigants on smear layer removal. *J Endod* 2015;41:1359–1363.
64. Mancini M, Ceroni L, Lorio L, Armellini E, Conte G, Cianconi L. Smear layer removal and canal cleanliness using different irrigation systems (EndoActivator, EndoVac, and passive ultrasonic irrigation): Field emission scanning electron microscopic evaluation in an in vitro study. *J Endod* 2013; 39:1456–1460.
65. Da Costa Lima GA, Aguiar CM, Camara AC, Aves LC, Dos Santos AB, Do Nascimento E. Comparison of smear layer removal using the Nd:YAG Laser, ultrasound, Pro Taper Universal system, and canal brush methods: An in vitro study. *J Endod* 2015;41:400–404.
66. Svensäler G, Bergenholtz G. Biofilms in endodontic infections. *Endodontic Topics* 2004;9:27–36.
67. Svec TA, Harrison JW. Chemomechanical removal of pulpal and dentinal debris with sodium hypochlorite and hydrogen peroxide vs normal saline solution. *J Endod* 1977;3:49–53.
68. Moodnik RM, Dorn SO, Feldmann MJ, Levey M, Borden BG. Efficacy of biochemical instrumentation: a scanning electron microscopic study. *J Endod* 1976;2:261–266.
69. Moorer WR, Wesselink PR. Factors promoting the tissue dissolving capability of sodium hypochlorite. *Int Endod J* 1982;4:187–196.
70. Salzgeber RM, Brilliant JD. An in vivo evaluation of the penetration of an irrigating solution in root canals. *J Endod* 1977;3:394–398.
71. Gulabivala K, Patel B, Evans G, Ng YL. Effects of mechanical and chemical procedures on root canal surfaces. *Endodontic Topics* 2005;10:103–122.
72. Howard RK, Kirkpatrick TC, Rutledge RE, Yaccino JM. Comparison of debris removal with three different irrigation techniques. *J Endod* 2011;37:1301–1305.
73. Siu C, Baumgartner JC. Comparison of the debridement efficacy of the EndoVac irrigation system and conventional needle root canal irrigation in vivo. *J Endod* 2010;36: 1782–1785.
74. Nielson BA, Baumgartner CJ. Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *J Endod* 2007; 33:611–615.
75. Shin SJ, Kim HK, Jun YI, Lee CY, Lee SJ, Kim E. Comparison of the cleaning efficacy of a new apical negative pressure irrigating system with conventional irrigation needles in root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2010;109:479–484.
76. Jiang LM, Verhaagen B, Versluis M, Langedijk J, Wesselink P, Van der Sluis LWM. The influence of the ultrasonic intensity on cleaning efficacy of passive ultrasonic irrigation. *J Endod* 2011;3:688–692.
77. Freire LG, Iglecias EF, Cunha RS, Dos Santos M, Gavini G. Micro-computed tomographic evaluation of hard tissue debris removal after different irrigation methods and its influence on the filling of curved canals. *J Endod* 2015;41: 1660–1666.
78. Kanter V, Weldon E, Nair U, Varella C, Kanter K, Annsavice K, Pileggi R. A quantitative and qualitative analysis of ultrasonic versus sonic endodontic systems and canal cleanliness and obturation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2011;112:803–813.
79. Rödiger T, Bozkurt M, Konietschke F, Hülsmann M. Comparison of the Vibringe system with syringe and passive ultrasonic irrigation in removing debris from simulated root canal irregularities. *J Endod* 2010;36:1410–1413.
80. Amato M, Vanoni-Heineken I, Hecker H, Weiger R. Curved versus straight root canals: the benefit of activated irrigation techniques on dentin debris removal. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2011;111:529–534.
81. Arslan H, Capar ID, Saygili G, Gok T, Akcay M. Effect of photon initiated photoacoustic streaming on removal of apically placed dentinal debris. *Int Endod J* 2014;47: 1072–1077.
82. De Moor RJG, Meire M, Goharkhay K, Moritz A, Vanobberger J. Efficacy of ultrasonic versus laser-activated irrigation to remove artificially placed dentin debris plugs. *J Endod* 2010;36:1580–1583.
83. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1984;58:589–599.
84. Estrela C, Rabelo LEG, De Souza JB, Alencar AHG, Estrela CRA, Neto MDS, Pecora JD. Frequency of root canal isthmi in human permanent teeth determined by cone-beam computed tomography. *J Endod* 2015;41:1535–1539.
85. Adorno CG, Fretes VR, Ortiz CP, Mereles R, Sosa V, Yubero MF, Escobar PM, Heilborn C. Comparison of two negative pressure systems and syringe irrigation for root canal irrigation: an ex vivo study. *Int Endod J* 2016;49:174–183.

86. De Gregorio C, Parajpe A, Garcia A, Navarrete N, Estevez R, Esphgues EO, Cohenca N. Efficacy of irrigation systems on penetration of sodium hypochlorite to working length and to simulated uninstrumented areas in oval shaped root canals. *Int Endod J* 2012;45:475–481.
87. De Gregorio C, Estevez R, Cisneros R, Paranjpe A, Cohenca N. Efficacy of different irrigation and activation systems on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals and up to working length: an in vitro study. *J Endod* 2010;36:1216–1221.
88. Justo AM, Da Rosa A, Santini MF, Ferreira MBC, Pereira JR, Duarte MAH, So MVR. Effectiveness of final irrigation protocols for debris removal from simulated canal irregularities. *J Endod* 2014;40:2009–2014.
89. Al-Jadaa A, Paqué F, Attin T, Zehnder M. Necrotic pulp tissue dissolution by passive ultrasonic irrigation in simulated accessory canals: impact of canal location an angulation. *Int Endod J* 2009;42:59–65.
90. Thomas AR, Smita NV, Jothilatha S. Comparative evaluation of canal isthmus debridement efficacy of modified EndoVac techniques with different irrigation systems. *J Endod* 2014;40:1676–1680.
91. Nagayoshi M, Kitamura C, Fukuizumi T, Nishihara T, Terashita M. Antimicrobial effect of ozonated water on bacteria invading dentinal tubules. *J Endod* 2004;30:778–781.
92. Arslan H, Capar ID, Saygili G, Gok T, Akcay M. Effect of photon initiated photoacoustic streaming on removal of apically placed dentinal debris. *Int Endod J* 2014;47:1072–1077.
93. Cohenca N, Heilborn C, Johnson JD, Flores DSH, Ito IY, Da Silva LAB. Apical negative pressure irrigation versus conventional irrigation plus triantibiotic intracanal dressing on root canals disinfection in dog teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2010;109:e42–e46.
94. Brito PRR, Souza LC, De Oliveira JCM, Alves FRF, De-Deus G, Lopes HP, Siqueira Jr JF. Comparison of the effectiveness of three irrigation techniques in reducing intracanal *Enterococcus faecalis* populations: an in vitro study. *J Endod* 2009;35:1422–1427.
95. Pasqualini D, Cuffini AM, Scotti N, Mandras N, Scalas D, Pera F, Berutti E. Comparative evaluation of the antibacterial efficacy of a 5% sodium hypochlorite subsonic-activated solution. *J Endod* 2010;36:1358–1360.
96. Huffaker SK, Safavi K, Spångberg LSW, Kaufman B. Influence of a passive sonic irrigation system on the elimination of bacteria from the root canal system: A clinical study. *J Endod* 2010;36:1315–1318.
97. Peters OA, Bardsley S, Fong J, Pandher G, Divito E. Disinfection of root canals with photon initiated photoacoustic streaming. *J Endod* 2011;37:1008–1012.
98. Pedulla E, Genovese C, Campagua E, Tempera G, Rapisarda E. Decontamination efficacy of photon-initiated photoacoustic streaming (PIPS) of irrigants using low-energy laser settings: an ex vivo study. *Int Endod J* 2012;45:865–870.
99. Meire MA, Prijck K, Coenye T, Nelis HJ, De Moor RJG. Effectiveness of different laser systems to kill *Enterococcus faecalis* in aqueous suspension and in an infected tooth model. *Int Endod J* 2009;42:351–359.
100. Huth KC, Quirling M, Maier S, Kamereck K, Alkhayer M, Poschos E, Welsch U, Miethe T, Brand K, Hinkel R. Effectiveness of ozone against endodontopathogenic microorganisms in a root canal biofilm model. *Int Endod J* 2009;42:3–13.
101. Hems RS, Gulabivala K, Ng YL, Ready D, Spratt DA. An in vivo evaluation of the ability of ozone to kill strain of *Enterococcus faecalis*. *Int Endod J* 2005;38:22–29.
102. Park E, Shen Y, Haapasalo M. Irrigation of the apical root canal. *Endodontic Topics* 2012;27:54–73.
103. Mitchell RP, Yang SE, Baumgartner JC. Comparison of apical extrusion of NaOCl using the EndoVac or needle irrigation of root canals. *J Endod* 2010;36:338–341.
104. Yost RA, Bergeron BE, Kirkpatrick TC, Roberts MD, Roberts HW, Himel VT, Sabey KA. Evaluation of four different irrigating systems for apical extrusion of sodium hypochlorite. *J Endod* 2015;41:1530–1534.
105. Mitchell RP, Baumgartner JC, Sedgley CM. Apical extrusion of sodium hypochlorite using different root canal irrigation systems. *J Endod* 2011;37:1677–1681.
106. Godim Jr E, Setzer FC, Dos Carmo SB, Kim S. Postoperative pain after the application of two different irrigation devices in a prospective randomized clinical trial. *J Endod* 2010;36:1295–1301.
107. Alturaiki S, Camphon H, Edrees H, Ahlquist M. Efficacy of three different irrigation systems on removal of calcium hydroxide from the root canal: A scanning electron microscopic study. *J Endod* 2015;41:97–101.
108. Rödig T, Vogel S, Zapf A, Hülsmann M. Efficacy of different irrigants in the removal of calcium hydroxide from root canals. *Int Endod J* 2010;43:519–527.
109. Yaylali IE, Kececi AD, Kaya BU. Ultrasonically activated irrigation to remove calcium hydroxide from apical third of human root canal system: a systematic review of in vitro studies. *J Endod* 2015;41:1589–1599.
110. Topcuoglu HS, Düzgün S, Ceyhanli KT, Akti A, Pala K, Kesim B. Efficacy of different irrigation techniques in the removal of calcium hydroxide from a simulated internal root resorption cavity. *Int. Endod J* 2015;48:309–316.
111. Yücel AC, Gürel M, Güler E, Karabucak B. Comparison of final irrigation techniques in removal of calcium hydroxide. *Aust Endod J* 2013;39:116–121.
112. Rödig T, Sedghi M, Konietschke F, Lage K, Ziebolz D, Hülsmann M. Efficacy of syringe irrigation, RinsEndo, and passive ultrasonic irrigation in removing debris from irregularities in root canals with different apical sizes. *Int Endod J* 2010;43:581–589.
113. Rödig T, Hirschleb M, Zapf A, Hülsmann M. Comparison of ultrasonic irrigation and RinsEndo for the removal of calcium hydroxide and Ledermix paste from root canals. *Int Endod J* 2011;44:1155–1161.
114. Arslan H, Akcay M, Capar ID, Saygili G, Gok T, Erfas H. An in vitro comparison of irrigation using photon initiated photoacoustic streaming, ultrasonic, sonic and needle technique in removing calcium hydroxide. *Int Endod J* 2015;48:246–251.



## Activation of root canal irrigants – A literature review

**KEYWORDS** *irrigation, disinfection, activation, irrigation system, passive ultrasonic irrigation, EndoActivator, EDDY, laser, ozone, EndoVac, Vibringe*

Disinfection of the root canal system using an antibacterial and tissue-dissolving irrigation protocol, also known as a chemomechanical preparation, is crucial during endodontic therapy. It is impossible to disinfect the complex root canal system using a conventional syringe alone because of irregularities such as isthmuses, lateral canals, convexities, and dentinal tubules. However, there are many activating systems that promise to improve the disinfection of the irrigant. This article presents background on these systems and gives a critical overview of the latest literature.



INNOVATION FÜR DIE  
OBTURATION

# BioRoot™ RCS

Root Canal Sealer

## High seal, and much more

NEU ab  
15.2.2016

Wir wissen, welche Konsequenzen der Misserfolg einer Wurzelkanalbehandlung für Sie und Ihre Patienten hat.

BioRoot™ RCS ist die neue Generation der mineralbasierten Obturation mit einer besonderen Kombination von Produkteigenschaften:

- herausragende Versiegelung
- antimikrobielle Wirkung
- periapikale Heilung
- einfache Obturation und Nachkontrolle

ACTIVE  
BIOSILICATE  
TECHNOLOGY

**BioRoot™ RCS.**  
**Für eine erfolgreiche Obturation.**

